

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS
ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

Edinayla Gonçalves Gomes

**ESTUDO COMPARATIVO QUANTO AO CONSUMO DE AÇO EM ESTRUTURA
DE UM EDIFÍCIO DE 8 PAVIMENTOS COM EXECUÇÃO DE ALVENARIA DE
VEDAÇÃO EM BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO E TIJOLO
CERÂMICO**

Belo Horizonte
2024

Edinayla Gonçalves Gomes

**ESTUDO COMPARATIVO QUANTO AO CONSUMO DE AÇO EM ESTRUTURA
DE UM EDIFÍCIO DE 8 PAVIMENTOS COM EXECUÇÃO DE ALVENARIA DE
VEDAÇÃO EM BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO E TIJOLO
CERÂMICO**

Monografia de especialização apresentada à
Escola de Engenharia da Universidade
Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do título de Especialista
em Estruturas.

Belo Horizonte

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA/TCC

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA / TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

Aos **três dias** do mês de **outubro de 2024**, às 16h, o estudante **Edinayla Gonçalves Gomes**, matrícula 2018698421, defendeu o Trabalho intitulado “**Estudo Comparativo Quanto ao Consumo de Aço Em Estrutura de um Edifício de 8 Pavimentos com Execução de Alvenaria de Vedação em Bloco de Concreto Celular Autoclavado e Tijolo Cerâmico**”.

Participaram da banca examinadora os abaixo indicados, que, por nada mais terem a declarar; assinam eletronicamente a presente ata.

Nota: (90)

Orientador(a): Prof. Ney Amorim Silva

Nota: (90)

Examinador(a): Prof. Pedro Vianna Pessoa de Mendonça



Documento assinado eletronicamente por **Ney Amorim Silva, Membro de comissão**, em 15/10/2024, às 18:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Pedro Vianna Pessoa de Mendonça, Professor do Magistério Superior**, em 27/10/2024, às 09:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3646057** e o código CRC **56F9669D**.

INSTRUÇÕES

Este documento deve ser editado apenas pelo Orientador e deve ser assinado eletronicamente por todos os membros da banca.

RESUMO

Este estudo comparativo analisou o consumo de aço para a execução de uma estrutura de um edifício de oito pavimentos na cidade de Divinópolis (MG), comparando alvenaria de vedação em bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) e tijolo cerâmico. O objetivo foi identificar qual material proporcionaria maior eficiência no uso de recursos para a execução da alvenaria de vedação, considerando particularmente o aço, crucial para a sustentabilidade e economia no setor da construção civil. A metodologia empregada em estudo de caso incluiu análise comparativa baseada em dados de projetos arquitetônicos e cálculos estruturais seguindo as normas técnicas vigentes. Os resultados indicam que o uso do BCCA, devido à sua menor densidade, reduz significativamente a carga sobre a estrutura, resultando em menor consumo de aço. O BCCA oferece uma oportunidade para avançar em direção a práticas de construção mais sustentáveis, sua adoção requer uma análise cuidadosa e abrangente, que equilibre os benefícios ambientais e econômicos com as potenciais dificuldades e limitações.

Palavras-chave: alvenaria de vedação; consumo de aço; bloco de concreto celular autoclavado; tijolo cerâmico.

ABSTRACT

This comparative study analyzed the steel consumption required for the structure of an eight-story building in Divinópolis (MG), comparing curtain wall masonry in autoclaved aerated concrete block (AAC) and ceramic brick. The goal was to identify which material would provide greater resource use efficiency for the execution of the curtain wall, particularly considering steel, crucial for sustainability and economy in the construction sector. The case study methodology included a comparative analysis based on architectural project data and structural calculations following current technical standards. The results indicate that the use of AAC, due to its lower density, significantly reduces the load on the structure, resulting in lower steel consumption. AAC offers an opportunity to advance towards more sustainable construction practices, yet its adoption requires a careful and comprehensive analysis, balancing environmental and economic benefits with potential difficulties and limitations.

Keywords: curtain wall masonry; steel consumption; autoclaved aerated concrete block; ceramic brick.

LISTA DE QUADROS, TABELAS E FIGURA

Figura 1 - Edifício objeto de estudo em corte (vista lateral esquerda).....	22
Quadro 1 - Normas e Requisitos Técnicos do bloco de concreto celular autoclavado	15
Quadro 2 - Normas e Requisitos Técnicos do bloco de tijolo cerâmico	20
Quadro 3 - Aspectos de Relevância da Norma NBR 6118/2014.....	26
Tabela 1 - Relação do consumo de aço para alvenaria de vedação em BCCA	28
Tabela 2 - Relação do consumo de aço para alvenaria de vedação em tijolo cerâmico	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	08
1.1	JUSTIFICATIVA	08
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	09
1.3	OBJETIVOS	09
1.3.1	Objetivo Geral	09
1.3.2	Objetivos Específicos.....	09
1.4	CORPO DO TRABALHO	10
2	REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1	HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO	11
2.1.1	Processos de fabricação e características físico-químicas	12
2.1.2	Normas e Requisitos Técnicos do bloco de concreto celular autoclavado.....	15
2.1.3	Vantagens e Desvantagens	16
2.2	HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO TIJOLO CERÂMICO	17
2.2.1	Processos de fabricação e características físico-químicas	18
2.2.2	Normas e Requisitos Técnicos do bloco de tijolo cerâmico	19
2.2.3	Vantagens e Desvantagens	20
3	METODOLOGIA.....	21
3.1	DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA ESTUDADA	22
3.1.1	Estrutura convencional	23
3.2	FERRAMENTAS E DOCUMENTOS PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS TÉCNICOS DE ANÁLISE	24
3.2.1	Projeto arquitetônico	24
3.2.2	Projeto estrutural desenvolvido no software Eberick	25
3.2.3	NBR 6118/2014 como referência	26
4	ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1	RELATÓRIO DA SUPERESTRUTURA EM ALVENARIA COM BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTO CLAVADO	28
4.2	RELATÓRIO DA SUPERESTRUTURA EM ALVENARIA COM TIJOLO CERÂMICO	30

4.3 COMPARANDO O VOLUME DE AÇO PARA CADA UMA DAS ALVENARIAS DE VEDAÇÃO.....	31
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS.....	35
APÊNDICE A – Pavimento 1ª Laje (Nível 0).....	38
APÊNDICE B – Pavimento 2ª Laje (Nível 324).....	39
APÊNDICE C – Pavimento 3ª Laje (Nível 612).....	40
APÊNDICE D – Pavimento 4ª Laje (Nível 900).....	41
APÊNDICE E – Pavimento 5ª Laje (Nível 1166).....	42
APÊNDICE F – Pavimento 6ª Laje (Nível 1476)	43
APÊNDICE G – Pavimento 7ª Laje (Nível 1764).....	44
APÊNDICE H – Pavimento 8ª Laje (Nível 2052).....	45
APÊNDICE I – Projeto Arquitetônico PRANCHA 1/4	46
APÊNDICE J – Projeto Arquitetônico PRANCHA 2/4	47
APÊNDICE K – Projeto Arquitetônico PRANCHA 3/4.....	48
APÊNDICE L – Projeto Arquitetônico PRANCHA 4/4	49

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento populacional e o fluxo de migração para os grandes centros urbanos, é comum que o setor da construção civil se destaque no cenário do desenvolvimento socioeconômico, tendo como responsabilidade prover a construção de sistemas que comportem o comércio, a indústria, a moradia e a funcionalidade dos equipamentos urbanos de propriedade privada, pública ou mista. O foco é o emprego cada vez maior de técnicas hábeis que otimizem recursos financeiros, materiais e de capital humano-técnico, e sejam práticas em sua execução com segurança, sustentabilidade e qualidade.

Assim, através do avanço da tecnologia que o setor da construção civil vem buscando alternativas de construção mais eficazes ou diversificáveis, em possível substituição do sistema convencional de alvenaria, com tijolos cerâmicos e, dessa forma, acompanhar a crescente preocupação da sociedade com a relação entre produtividade, extração de recursos naturais e eficiência.

A possibilidade do uso e manuseio de elementos construtivos mais leves e, nem por isto menos resistentes aos esforços solicitados pela hiperestrutura, pode apresentar uma série de vantagens construtivas, como da redução do peso incidente da fundação, redução de consumo de concreto, redução do consumo global em aço, flexibilidade logística, redução do tempo de execução, entre outros.

Todavia, é imprescindível que o departamento de engenharia se assegure de que estes sistemas, convencionais ou novas tecnologias, sejam testados, analisados e calculados, de forma a manter as previsões das normas técnicas vigentes, e garantir o uso seguro e a manutenção de suas instalações.

1.1 JUSTIFICATIVA

O bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) apresenta fácil manuseio por possuir uma densidade reduzida e uma resistência considerável (da ordem de 2,6 MPa). Isto, devido ao seu processo construtivo que envolve o pó de alumínio como agente expensor. Apesar de ter sido desenvolvido na Suécia, ainda na década de 1920, e ter conquistado o mercado europeu, por ser pré-moldado e possuir excelentes características térmicas, o material ainda não é amplamente utilizado no Brasil.

Isto, elucida a relevância desta pesquisa e a necessidade do desenvolvimento e publicação de estudos científicos que demonstrem a viabilidade e aplicação do BCCA. Neste contexto, o estudo comparativo visa, a partir da análise teórica e empírica, a avaliação e descrição de qual sistema pode apresentar uma maior produtividade, precificação e qualidade (dentro dos apontamentos elencados).

Estudos comparativos de métodos construtivos contribuem para o desenvolvimento tecnológico e para o setor da engenharia civil pois, é preciso que o profissional possa estar apto a analisar pontualmente as características correlacionadas entre o método e o projeto. Não é cabível cometer o erro de privilegiar ou descartar um sistema construtivo ou elementos estruturais sem que, antes, seja possível considerar o orçamento previsto, as solicitações de carga, as características do solo, limitações operacionais e de capital humano, entre demais.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Quais seriam as diferenças e impactos do volume de aço em uma construção, comparando o uso do bloco de concreto celular autoclavado ao sistema de alvenaria de vedação em tijolos cerâmicos?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Descrever as relações entre consumo de aço, em um estudo de caso comparativo entre os sistemas de vedação que envolvem o bloco de concreto celular autoclavado e o tijolo cerâmico.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar características técnicas da construção utilizada como objeto de estudo;
- Analisar o volume de aço necessário na implementação de cada tipo de construção;
- Discorrer sobre as vantagens e limitações de cada sistema.

1.4 CORPO DO TRABALHO

O primeiro capítulo envolve a contextualização do tema, a definição do problema de pesquisa, assim como outros elementos fundamentais como relevância acadêmica e objetivos. O segundo capítulo trata do levantamento do estado da arte, contemplando contribuições de outros autores e pesquisadores, dentro dos assuntos que tangenciam o desenvolvimento da investigação.

O terceiro capítulo aborda o delineamento metodológico, trazendo autores com pesquisas análogas e elucidando quanto a recursos e ferramentas. O quarto capítulo correlaciona resultados e discute o conteúdo encontrado com a colaboração de outras pesquisas, tendo como foco a resposta ao problema levantado. O quinto e último capítulo traz o fechamento com as considerações finais e sinaliza as limitações do estudo, assim como orienta quanto a possíveis desdobramentos para trabalhos posteriores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO

O bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) é um material de construção que foi inicialmente desenvolvido na Suécia em torno da década de 1920. O arquiteto e inventor sueco Axel Eriksson foi o pioneiro na criação desse material inovador. Naquela época, a indústria da construção estava em busca de alternativas mais eficientes e econômicas aos materiais de construção tradicionais (TEIXEIRA et al, 2019).

Eriksson vislumbrou um material que poderia combinar a força e a durabilidade do concreto com a leveza e a facilidade de manuseio do tijolo tradicional. Depois de suas origens na Suécia, o BCCA rapidamente ganhou terreno em outros países europeus. Na Alemanha, por exemplo, o material desempenhou um papel significativo na reconstrução do país após a devastação da Segunda Guerra Mundial (VITO; ANTUNES, 2019).

A Alemanha foi um dos primeiros países a reconhecer as vantagens do BCCA, como suas propriedades de isolamento térmico e acústico, bem como sua resistência ao fogo. Nos anos que se seguiram, o material se espalhou para outros países europeus, incluindo França, Reino Unido e Itália, onde foi usado tanto em edifícios residenciais quanto comerciais (WITZKE, 2017).

De acordo com Bolina et al (2019), nas décadas de 1980 e 1990, a indústria da construção civil começou a focar mais intensamente na sustentabilidade e no impacto ambiental dos materiais de construção. Isso levou a avanços significativos na tecnologia de fabricação do BCCA. Novas técnicas foram desenvolvidas para tornar o processo de fabricação mais “ecoeficiente”, reduzindo as emissões de CO₂ e o consumo de energia.

Estes avanços tornaram o BCCA um dos materiais de construção mais sustentáveis disponíveis, o que aumentou ainda mais sua popularidade. A partir da virada do milênio, o BCCA tem visto uma crescente adoção em regiões fora da Europa, incluindo os Estados Unidos, Ásia e também o Brasil. A crescente conscientização sobre a importância da construção sustentável e eficiente tem feito do BCCA uma escolha cada vez mais popular.

De acordo com Silva e Silva (2021):

O BCCA foi inicialmente desenvolvido como um material para aplicações de isolamento, mas logo se tornou popular como um material de construção estrutural. O BCCA foi introduzido no Brasil na década de 1950, mas só começou a se popularizar na década de 1980. O BCCA é agora um dos materiais de construção mais populares no Brasil, sendo usado em uma variedade de aplicações, incluindo paredes de vedação, paredes estruturais, pisos e coberturas (SILVA; SILVA, 2021, p.2).

No entanto, o material ainda pode enfrentar alguns desafios significativos que têm retardado sua adoção em escala global. Um desses potenciais desafios é o custo de transporte, especialmente para regiões onde a fabricação do BCCA ainda não é uma indústria estabelecida. A disponibilidade limitada em algumas áreas também tem sido uma barreira para sua adoção mais ampla.

2.1.1 Processos de fabricação e características físico-químicas

A produção do bloco de concreto celular autoclavado (BCCA) é um processo bem orquestrado que envolve múltiplas etapas. O primeiro passo é a mistura dos ingredientes básicos: areia, cimento, cal e um agente expensor, que normalmente é o pó de alumínio. Essa mistura inicial é então homogeneizada em um misturador industrial (BIANQUINI; DARÉ, 2016).

A seguir, a mistura é transferida para moldes, onde começa o processo de cura inicial. A segunda etapa é a autoclavagem. A mistura nos moldes é submetida a altas pressões e temperaturas em um autoclave. Este processo não só acelera a cura do concreto, mas também induz uma reação química com o agente expensor. Isso resulta na formação de pequenas bolhas de ar dentro do material, tornando-o mais leve (KLAUMANN; CARVALHO, 2017).

Conforme Vito e Antunes (2019) e Witzke (2017), o processo de fabricação do BCCA pode ser inteiramente automatizado e envolve várias fases críticas. Inicialmente, uma mistura é preparada utilizando areia quartzosa, cimento, cal, água e aditivos em proporções específicas. Esta mistura é então deixada em repouso em grandes reservatórios a uma temperatura controlada de 20°C, com o objetivo de desenvolver uma estrutura microporosa. Posteriormente, a mistura é moldada e cortada em blocos com alta precisão.

Ainda no contexto apresentado por Vito e Antunes (2019) e Witzke (2017), estes blocos são submetidos a condições extremas de alta pressão e temperatura em um autoclave, por cerca de doze horas, o que lhes confere resistência e estabilidade dimensionais excepcionais. Após este tratamento, os blocos se transformam em um tipo de "pedra artificial" que é leve e fácil de manusear. Finalmente, cada bloco passa por um rigoroso controle de qualidade antes de ser embalado, estocado e paletizado para distribuição.

O BCCA possui uma densidade que varia tipicamente entre 300-800 kg/m³. Esta variação de densidade é resultado direto do processo de fabricação do material. Durante a autoclavação, o pó de alumínio reage quimicamente produzindo gás hidrogênio, que forma poros no concreto, tornando-o leve e com propriedades isolantes. Esse processo não só define a densidade final do material, mas também influencia diretamente suas características térmicas e acústicas, assim como sua resistência ao fogo (WITZKE, 2017; KLAUMANN; CARVALHO, 2017).

Nos estudos de hiperestruturas, a densidade do material de construção é um fator crucial no cálculo estrutural. O BCCA, por ser mais leve, pode reduzir significativamente as cargas atuantes sobre a fundação e a superestrutura do edifício. Este aspecto é particularmente vantajoso em edificações de múltiplos pavimentos, onde a redução do peso pode diminuir o consumo de materiais como aço e concreto, necessários para suportar a estrutura. A densidade menor do BCCA impacta diretamente na quantidade de aço necessário para a estrutura.

Em um sistema que utiliza BCCA, a redução da carga devido à leveza do material permite o uso de menor quantidade de aço, sem comprometer a segurança e a integridade estrutural. Além disso, a facilidade de manuseio e a velocidade de montagem do BCCA contribuem para uma construção potencialmente mais rápida e econômica, aspectos essenciais no contexto de desenvolvimento sustentável e eficiente.

Características Físico-Químicas

Uma das características mais notáveis do BCCA é a sua resistência à compressão. A resistência à compressão é uma medida da capacidade de um material para resistir a cargas que tendem a reduzir o seu tamanho. No caso do BCCA, esta resistência pode chegar a cerca de 15 MPa, o que é notável considerando sua baixa

densidade. Essa alta resistência à compressão o torna uma escolha adequada para paredes portantes e não-portantes em estruturas de edifícios (DALPAZ et al, 2019).

O BCCA também possui boa resistência ao cisalhamento, que é a capacidade do material de resistir a forças que atuam perpendicularmente ao seu eixo longitudinal. Essa propriedade é especialmente útil em estruturas que enfrentam cargas laterais como vento ou forças sísmicas (FUSCO et al, 2017).

O isolamento térmico é outra área onde o BCCA se destaca. Sua estrutura celular única proporciona uma excelente barreira térmica, tornando-o ideal para climas que exigem controle rigoroso de temperatura dentro das estruturas. Além disso, a mesma estrutura celular que fornece isolamento térmico também oferece excelente isolamento acústico. Isso o torna uma opção atraente para edifícios como hospitais, escolas e escritórios, onde o controle de som é crucial (VILANOVA, 2017).

Como mencionado, o BCCA apresenta uma excelente resistência ao fogo. Seu processo de fabricação e sua composição química tornam o material incombustível, o que é uma vantagem significativa em aplicações onde a resistência ao fogo é uma preocupação. Além disso, o BCCA não emite gases tóxicos quando exposto ao fogo, o que pode ser vital em situações de emergência.

Em termos químicos, o BCCA é um material inerte, o que significa que é resistente à maioria dos tipos de degradação química. Isso o torna adequado para uso em ambientes agressivos, onde outros materiais podem sofrer degradação. A durabilidade é outra característica técnica importante do BCCA. Sua resistência a fatores ambientais como umidade, fungos e ação de elementos químicos faz dele um material de longa duração. Isso é especialmente útil em aplicações onde a durabilidade e baixa manutenção são desejadas, como fachadas de edifícios e paredes internas (BIANQUINI; DARÉ, 2016).

Outra característica que vale a pena mencionar é o perfil de sustentabilidade do BCCA. A produção de BCCA é geralmente mais eficiente em termos de energia em comparação com outros materiais, especialmente quando se utiliza a tecnologia de autoclavagem. Isso resulta em menor emissão de CO₂, alinhando-se com as metas de sustentabilidade e eficiência energética que são cada vez mais priorizadas na indústria da construção civil.

2.1.2 Normas e Requisitos Técnicos do bloco de concreto celular autoclavado

No Brasil, as normas técnicas para materiais de construção são estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O BCCA está sujeito às normas da ABNT que ditam os requisitos para as suas propriedades físico-mecânicas, métodos de ensaio, entre outros. A NBR 13438 (ABNT, 2021), é uma norma técnica que foca em estabelecer os critérios de qualidade e segurança para blocos de concreto celular autoclavado. Esta norma é particularmente importante porque ela oferece um conjunto mais atualizado de diretrizes e requisitos para o BCCA, levando em consideração avanços tecnológicos e práticas de engenharia mais recentes. Isso é especialmente relevante para este estudo, onde a comparação entre diferentes materiais só é válida se todos os materiais em questão atenderem às normas e requisitos técnicos estabelecidos.

Quadro 1 - Normas e Requisitos Técnicos do bloco de Concreto Celular Autoclavado

NBR 13438 2021: Blocos de concreto celular autoclavado - Requisitos.	Esta norma trata das especificações para blocos BCCA para vedação e estrutural, incluindo requisitos como tolerâncias dimensionais e resistência à compressão > 2,5 MPa para blocos de classe C-25, o que utilizamos no estudo de caso.
NBR 13440 2021: Blocos de concreto celular autoclavado – Métodos de ensaio.	Esta parte define os métodos de ensaio para determinar as características dos blocos BCCA como resistência à compressão, densidade de massa aparente seca e retração linear à secagem.
NBR 6120 2019: Ações para cálculo de estruturas de edificações.	Esta norma define o peso específico aparente do BCCA Classe C-25 em 5,5 KN/m³. Esta determinação auxilia no cálculo de cargas da estrutura.
NBR 15575-2 2021 – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. NBR 15575-4 2021 – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas	Estas normas delineiam requisitos para propriedades de desempenho da estrutura habitacional de forma geral como isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, durabilidade e iluminação.

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Normas Internacionais

Globalmente, existem também normas que regulam o uso do BCCA. A ASTM International, uma organização de normas internacionalmente reconhecida, tem várias normas que se aplicam ao BCCA, como a ASTM C1691 e ASTM C1693. Estas normas cobrem desde os métodos de ensaio até as especificações para as dimensões e qualidade do bloco (SILVA; SILVA, 2021).

Os requisitos técnicos para o BCCA são muito rigorosos. O material deve atender a critérios específicos de resistência à compressão, isolamento térmico e acústico, e resistência ao fogo. Em muitos casos, o BCCA deve também atender a critérios de sustentabilidade, especialmente em projetos que buscam certificações ambientais como o LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design* - em português, Liderança em Energia e Design Ambiental) ou o Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal (FUSCO et al, 2017).

2.1.3 Vantagens e Desvantagens

Utilizar o BCCA em construções resulta em obras mais limpas e com menos resíduos. Isso não só reduz o impacto ambiental, mas também pode diminuir acidentes de trabalho relacionados ao manuseio de materiais e descarte de resíduos. Além disso, com menos desperdício de material, os custos relacionados à compra de matéria-prima e à logística para a eliminação de resíduos também são minimizados. Estas economias podem ser significativas em projetos de grande escala (MONTIEL; SILVA, 2019).

De acordo com Witzke (2017):

A fabricação de concreto celular autoclavado requer menos energia do que todos os outros produtos de alvenaria, reduzindo, assim, o uso de combustíveis fósseis e as emissões de dióxido de carbono e não há a criação e emissão de gases tóxicos durante o processo de fabricação dos blocos. Há uma economia de energia e de emissões de gases tóxicos no transporte desse material: o fato de que o concreto celular autoclavado é até cinco vezes mais leve que o cimento e duas a três vezes mais leve que o tijolo de argila leva a reduções significativas nas emissões de CO₂ durante o transporte (WITZKE, 2017, p.23).

A resistência do BCCA à umidade (fungos, elementos químicos) e outros elementos ambientais reduz a probabilidade de degradação ao longo do tempo. Isso significa menos custos com reparos e manutenções, que frequentemente envolvem tratamentos contra mofo e corrosão. Em ambientes industriais onde produtos

químicos são uma preocupação, essa resistência pode evitar custos adicionais com revestimentos e tratamentos técnicos especiais (ATAÍDE et al, 2019).

A durabilidade prolongada do BCCA representa uma economia de longo prazo. Menos manutenção e reparos significam que, embora o custo inicial de aquisição possa ser maior, o investimento se paga ao longo do tempo. Em termos de ciclo de vida do edifício, o BCCA pode ser uma opção mais eficiente. A excelente capacidade de isolamento térmico e acústico do BCCA (já previamente citada) pode resultar em economias substanciais em sistemas de climatização e isolamento acústico. Isso não só melhora a qualidade de vida dos ocupantes como também pode levar a economias significativas em sistemas de fornecimento/geração de eletricidade (CELESTINO; RESENDE, 2021).

Uma das principais desvantagens ao uso do BCCA pode ser seu custo inicial mais elevado para alguns projetos, especialmente aqueles com orçamentos mais restritos. No entanto, é importante considerar que muitas das vantagens acima podem resultar em economias a longo prazo, que podem ser melhor exploradas e analisadas por parte da equipe de engenharia. Um outro fator complicador a ser considerado é o custo de transporte do material pode ser um fator decisivo na escolha do BCCA, especialmente se não houver uma fábrica próxima ao local de execução da obra. Este custo adicional pode tornar o material impraticável para alguns projetos, independentemente de suas outras vantagens.

2.2 HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS DO BLOCO DE TIJOLO CERÂMICO

A utilização de tijolos cerâmicos como material de construção tem registros que remontam a cerca de 7000 a.C, durante o período neolítico. O desenvolvimento desta tecnologia de construção pode ser observado através de várias civilizações antigas, como os egípcios, que já utilizavam tijolos de barro secos ao sol em 3000 a.C. Durante o período romano, o engenheiro e arquiteto Vitrúvio documentou métodos de fabricação de tijolos cerâmicos que influenciaram práticas de construção por séculos (FUSCO et al, 2017).

Bolina et al (2019), descrevem que:

Os tijolos cerâmicos são um dos materiais de construção mais antigos do mundo. Os primeiros tijolos cerâmicos foram feitos na Mesopotâmia, há cerca de 10.000 anos. Os tijolos cerâmicos continuaram a ser usados como material

de construção principal por séculos. No século XIX, a industrialização levou ao desenvolvimento de novos métodos de fabricação de tijolos cerâmicos. Esses novos métodos tornaram a produção de tijolos cerâmicos mais eficiente e acessível (BOLINA et al, 2019, p.37).

No Renascimento, artistas e engenheiros como Filippo Brunelleschi utilizaram tijolos cerâmicos em suas inovadoras técnicas de construção. O século 19 foi marcante para a evolução dos tijolos cerâmicos, com a industrialização permitindo métodos de produção em massa que aumentaram a qualidade e a uniformidade do produto. No contexto brasileiro, o tijolo cerâmico ganhou popularidade principalmente nas regiões Sul e Sudeste, onde a abundância de argila facilitou sua produção em larga escala (FUSCO et al, 2017).

No contexto nacional, o uso de tijolos cerâmicos tem uma longa história, especialmente na arquitetura colonial. As técnicas de fabricação de tijolos foram trazidas ao Brasil pelos colonizadores portugueses e se espalharam rapidamente devido à abundância de recursos naturais, como argila, necessários para a sua produção. Nas regiões Sul e Sudeste, em particular, a indústria de tijolos cerâmicos viu um crescimento significativo durante o século 20, impulsionada pela urbanização acelerada e pelo desenvolvimento industrial (ASSMANN, 2016).

Contemporaneamente, o Brasil é um dos maiores produtores de tijolos cerâmicos na América Latina, e o material é amplamente utilizado em todo o país em diversos tipos de construção, desde habitações populares até edifícios industriais e monumentos históricos (BOLINA et al, 2019).

2.2.1 Processos de fabricação e características físico-químicas

A principal matéria-prima para a fabricação de tijolos cerâmicos é a argila, um recurso natural abundante. Esta argila é frequentemente misturada com outros elementos como areia, saibro e às vezes aditivos químicos para melhorar as características do produto final (COSTA JÚNIOR et al, 2022).

Além da argila, outros elementos químicos podem ser adicionados à mistura para conferir propriedades específicas aos tijolos, como maior resistência ao fogo ou à compressão. Alguns desses aditivos incluem óxidos de cálcio, silício e alumínio. O processo de fabricação começa com a extração e preparação da argila, que é então misturada com água para formar uma massa homogênea. Esta massa é moldada em

formas de tijolo e submetida a um processo de secagem, removendo o excesso de umidade. Em seguida, os tijolos são cozidos em fornos a temperaturas que variam entre 900 e 1200 graus Celsius. Este cozimento transforma a argila em um material cerâmico duro e resistente (FUSCO et al, 2017).

Os tijolos cerâmicos são conhecidos por sua excelente resistência mecânica e propriedades térmicas. Eles são altamente resistentes à compressão, o que os torna adequados para uso em estruturas que necessitam suportar grandes cargas. Além disso, a estrutura porosa da cerâmica confere ao tijolo boas propriedades de isolamento térmico e acústico.

Os tijolos cerâmicos comumente utilizados em construções apresentam uma densidade que varia entre 1600 a 1900 kg/m³. Essa variação é influenciada principalmente pela composição de sua massa, pelo método de fabricação e pelo grau de queima durante o processo de produção. Quanto mais densa e menos porosa for a argila utilizada, maior será a densidade do tijolo resultante (SANTOS et al, 2021).

Tijolos cerâmicos, sendo mais densos, resultam em uma carga maior sobre a fundação e a superestrutura do edifício comparado a materiais mais leves como o BCCA (visto anteriormente). Esta maior carga implica na necessidade de usar quantidades maiores de aço e concreto para garantir a integridade e segurança estrutural. O uso de materiais densos como tijolo cerâmico pode levar a um aumento no custo global de construção, não apenas pelo material em si, mas também pelo aumento do uso de aço e concreto, o que também impacta na complexidade do projeto estrutural e no tempo de construção.

2.2.2 Normas e Requisitos Técnicos do bloco de tijolo cerâmico

A NBR 15270 (ABNT, 2017), divide-se em duas partes e trata dos componentes cerâmicos utilizados em alvenaria estrutural e de vedação. Ela aborda aspectos como dimensões, tolerâncias, resistência mecânica e absorção de água. A resistência à compressão é um dos aspectos mais críticos na seleção de tijolos cerâmicos para uso em construção civil. Esta resistência é crucial para garantir a integridade estrutural das construções em que esses tijolos são utilizados.

Quadro 2 - Normas e Requisitos Técnicos do bloco de tijolo cerâmico

NBR 15270-1 2017: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos.	Esta parte da norma trata das especificações para blocos usados em alvenaria de vedação e estrutural, incluindo requisitos como tolerâncias dimensionais e resistência à compressão > 1,5 MPa para blocos não estruturais.
NBR 15270-2 2017: Componentes cerâmicos - Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 2: Métodos de ensaio.	Esta parte define os métodos de ensaio para determinar as características dos blocos cerâmicos como resistência à compressão dos componentes com e sem função estrutural; e características físicas e geométricas.
NBR 6120 2019: Ações para cálculo de estruturas de edificações.	Esta norma define o peso específico aparente do bloco cerâmico vazado com paredes vazadas em 12 KN/m³. Esta determinação auxilia no cálculo de cargas da estrutura.
NBR 15575-2 2021 – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 2: requisitos para os sistemas estruturais. NBR 15575-4 2021 – Edificações habitacionais – Desempenho Parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas	Estas normas delineiam requisitos para propriedades de desempenho da estrutura habitacional de forma geral como isolamento térmico e acústico, resistência ao fogo, durabilidade e iluminação.

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

2.2.3 Vantagens e Desvantagens do seu uso

As normas da ABNT, especialmente as NBR 15270-1 e NBR 15270-2, estabelecem critérios rigorosos para a resistência à compressão, tornando-os uma escolha sólida para estruturas que necessitam suportar cargas pesadas e condições adversas. Em relação ao isolamento térmico e acústico, os tijolos cerâmicos também apresentam um bom desempenho (RAMÃO, 2018).

Em termos de resistência à compressão, os tijolos cerâmicos geralmente saem à frente, podendo atingir resistências superiores a 20 MPa, em comparação com a faixa de 10 a 15 MPa para o BCCA. No entanto, o BCCA demonstra maior resistência à flexão e ao impacto, graças à sua estrutura celular única. Além disso, o BCCA é geralmente mais resistente ao fogo, sendo um material incombustível, enquanto os tijolos cerâmicos podem ser vulneráveis a altas temperaturas (ASSMANN, 2016; BIANQUINI; DARÉ, 2016).

Os tijolos cerâmicos são feitos de argila, que é um recurso natural não renovável. A extração de argila pode causar danos ao meio ambiente, como a erosão e a contaminação do solo. Além disso, a produção de tijolos cerâmicos requer grandes quantidades de energia e água. O BCCA é feito de cimento, cal, areia e água. O

cimento é feito de calcário, a cal é um produto industrial feito a partir da calcinação da rocha calcária. A rocha calcária é um recurso não renovável, mas a cal pode ser reciclada e reutilizada (MARINHO, 2020).

A produção de cimento requer menos energia e água do que a produção de tijolos cerâmicos. Além disso, o BCCA tem um menor impacto ambiental do que os tijolos cerâmicos em termos de transporte e armazenamento. Os tijolos cerâmicos são geralmente mais pesados e volumosos do que o BCCA, o que significa que requerem mais energia para serem transportados e armazenados (VITO; ANTUNES, 2019).

Como mencionado, um dos principais desafios ao usar tijolos cerâmicos é o seu peso significativo. Este fator pode exigir fundações mais robustas, o que, por sua vez, pode aumentar os custos globais de um projeto de construção. Além disso, o peso adicional pode implicar em desafios logísticos durante a fase de construção. Outra desvantagem é a maior suscetibilidade à absorção de água.

Embora os tijolos cerâmicos possam ser impermeabilizados, este é um passo adicional que pode aumentar os custos e o tempo de construção. Além disso, são materiais mais frágeis ao impacto, o que pode resultar em quebras durante o transporte ou a instalação, exigindo cuidados adicionais e possivelmente aumentando os custos devido a desperdícios.

3 METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa representa o algoritmo da investigação acadêmica, delineando o caminho através do qual o estudo alcançará seus objetivos propostos (DRESCH et al., 2019). No contexto deste estudo, se dedica a explorar as diferenças no consumo de aço em estruturas de edifícios de 8 pavimentos empregando alvenaria de vedação em bloco de concreto celular autoclavado e tijolo cerâmico. Para tal, foram utilizados estudos de referência como Borges e Librelotto (2018), Jesus et al (2018), e Silva (2024).

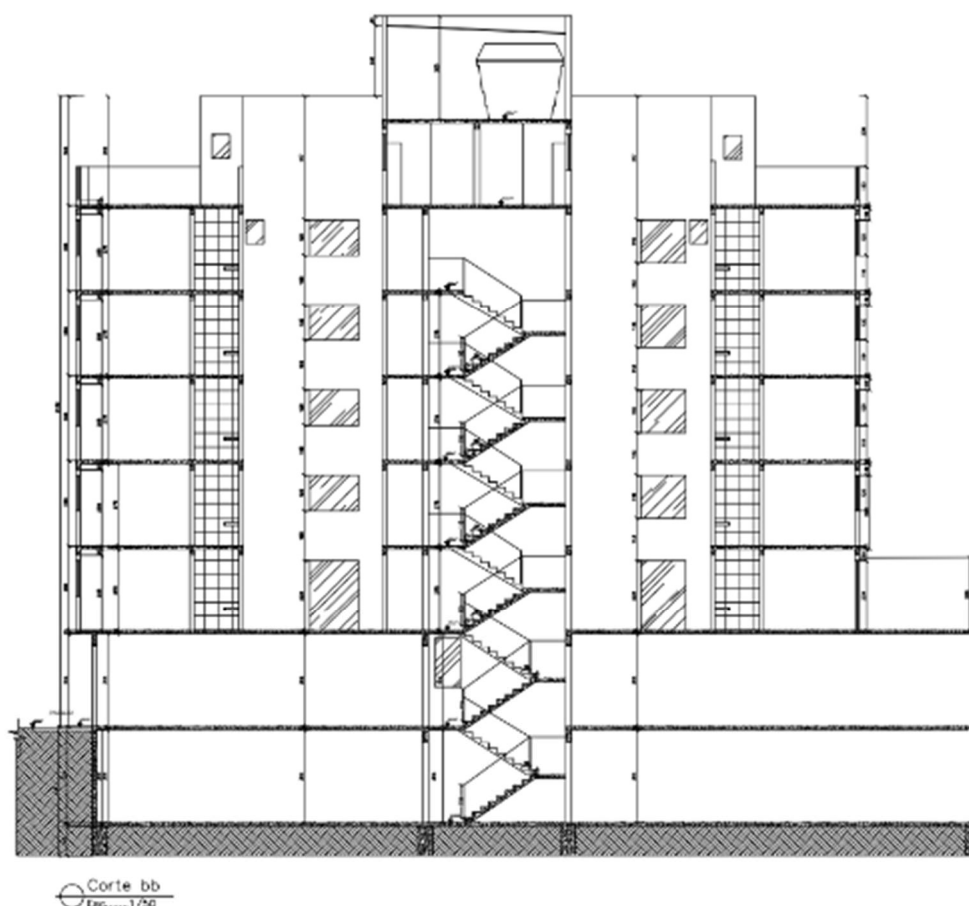
Neste capítulo, não apenas se define os parâmetros para uma comparação equitativa entre esses dois métodos construtivos, mas também estabelece as bases para avaliações objetivas e conclusões baseadas em evidências. O foco é elencar e esclarecer as técnicas e procedimentos adotados, desde a coleta de dados, passando pela análise estatística, até chegar às estratégias de interpretação dos resultados.

A relevância de uma metodologia bem definida reside na sua capacidade de garantir a replicabilidade e fidedignidade do estudo e a validade dos resultados obtidos. Assim, a metodologia não só orienta a investigação em um campo específico da engenharia civil, mas também contribui para o corpo de conhecimento existente, oferecendo “insights” valiosos sobre práticas de construção mais sustentáveis e eficientes (CRESWELL, 2016).

3.1 DESCRIÇÃO DA ESTRUTURA ESTUDADA

Este edifício, situado em Divinópolis-MG, objeto de estudo, consiste em uma estrutura residencial multifamiliar vertical, projetada para maximizar a eficiência do consumo de aço, sem alterar o arranjo estrutural. Um trecho da planta do edifício, com vista em corte, está representado na Figura 1.

Figura 1- Edifício objeto de estudo em corte (vista lateral esquerda)



Fonte: Adaptação do Projeto Estrutural, pela Autora (2024).

Este projeto abrange oito pavimentos. Os pavimentos e suas respectivas pranchas estão nos apêndices (A, B, C, D, E, F, G e H - elementos pós-textuais) deste trabalho. Com um “design” que enfatiza a funcionalidade e a acessibilidade, o edifício possui unidades habitacionais variadas, áreas comuns, áreas descobertas, espaços para estacionamento, e infraestrutura de suporte como elevador, seguindo rigorosamente as normas de construção e de segurança. Este edifício incorpora conceitos com áreas comuns e privativas projetadas para atender a uma gama variada de necessidades dos moradores, promovendo um ambiente de moradia confortável e seguro.

A estratégia de não modificar o arranjo estrutural, assegura o mesmo consumo de concreto para os dois sistemas, fazendo com que a análise se concentre especificamente no impacto do uso de diferentes materiais de vedação sobre o consumo de aço, fundamental para a pesquisa em questão.

3.1.1 Estrutura convencional

A estrutura convencional em construção civil, é amplamente utilizada no mercado por sua aplicabilidade universal, é fundamentalmente caracterizada pelo uso de materiais clássicos como o concreto armado. Este método construtivo é tradicionalmente valorizado por sua robustez, durabilidade e versatilidade, adequando-se a uma vasta gama de projetos arquitetônicos, desde edificações residenciais a complexos comerciais e industriais.

Central à estrutura convencional é a sinergia entre seus componentes principais: lajes, vigas, pilares, e a infraestrutura ou fundações. As lajes, superfícies planas que compõem os pisos e tetos, são suportadas por vigas. Estas, por sua vez, transferem as ações recebidas para os pilares, que desempenham o papel crucial de conduzi-las até a infraestrutura, assegurando que o peso da construção seja distribuído de maneira eficaz pelo solo subjacente. Esse processo de transferência de cargas, do topo da estrutura até a base, é fundamental para a integridade e estabilidade de qualquer edificação.

As lajes funcionam como superfícies horizontais que distribuem cargas para as vigas. Elas são fundamentais para criar os pisos e tetos dentro de um edifício, e sua construção precisa considerar vários fatores, dentre eles espessura, material,

posicionamento e quantidade de aço, assegurando resistência adequada ao que foi projetado.

As vigas, por sua vez, são elementos estruturais horizontais que suportam as cargas provenientes das lajes e as redistribuem para os pilares. Elas são cruciais para a integridade estrutural, permitindo a criação de vãos maiores e facilitando a distribuição flexível do espaço interno. O dimensionamento adequado das vigas é essencial para garantir o ELU (Estado Limite Último) e o ELS (Estado Limite de Serviço) evitando-se assim a ruína e deformações excessivas que possam afetar a segurança, funcionalidade ou o conforto dentro do edifício.

Os pilares agem como colunas verticais que suportam todo o peso da estrutura acima, incluindo as vigas, lajes e, por fim, as cargas transmitidas por esses componentes. Eles são projetados para transferir estas cargas diretamente para as fundações, assegurando que a estrutura permaneça estável e segura. A localização, o dimensionamento e o material dos pilares são determinados com base em cálculos estruturais precisos, considerando a carga total da construção e as condições do solo.

O correto dimensionamento e a distribuição harmoniosa de cargas garantem que a estrutura possa resistir não apenas ao peso próprio dos materiais utilizados na construção, mas também a cargas externas, como as induzidas por condições meteorológicas adversas ou pela ocupação humana. Além de sua capacidade estrutural, a estrutura convencional é altamente valorizada por sua flexibilidade projetual. A possibilidade de adaptar facilmente o layout de espaços internos, sem comprometer a integridade estrutural, faz desse método uma escolha eficaz. Esta adaptabilidade, aliada à resistência e à durabilidade que o concreto e o aço proporcionam, faz da estrutura convencional uma opção segura e confiável para a construção civil.

3.2 FERRAMENTAS E DOCUMENTOS PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS TÉCNICOS DE ANÁLISE

3.2.1 Projeto arquitetônico

O projeto arquitetônico residencial multifamiliar vertical foi projetado na cidade de Divinópolis, no estado de Minas Gerais. Ele é datado de novembro de 2021 e foi aprovado pela Prefeitura Municipal de Divinópolis, especificamente pela Secretaria

Municipal de Planejamento Urbano e Meio Ambiente. O projeto contempla a construção de um edifício residencial com subsolo, térreo e mais seis pavimentos de apartamentos, além de um acesso às caixas d'água. O edifício apresenta um total de 2.182,58 m² de área construída, incluindo áreas descobertas em alguns pavimentos. As respectivas pranchas do projeto arquitetônico estão nos apêndices (I, J, K e L - elementos pós-textuais) deste trabalho. O lote possui área total de 360 m².

O projeto detalha um sistema construtivo em concreto armado, com características específicas para suportar as cargas dos pavimentos. O documento menciona a aprovação de cálculos de áreas, indicação das áreas construídas e descobertas por pavimento, e os requisitos técnicos e legais para sua execução. Cada pavimento foi detalhado, incluindo a distribuição de espaços, funções dos ambientes, e áreas específicas. Também está incluso detalhes da fachada e elementos importantes para a estética e funcionalidade do edifício, além de aspectos relacionados ao conforto térmico e acústico.

3.2.2 Projeto estrutural desenvolvido no *software* Eberick

O projeto estrutural desta pesquisa foi desenvolvido por uma empresa terceirizada, seguindo os protocolos internos do ambiente de trabalho da autora e desenvolvedora deste estudo. A função laboral da pesquisadora é conduzir o processo de execução de obras, assim como analisar a viabilidade em conjunto com a diretoria, assessorando as tomadas de decisão.

Para o desenvolvimento deste estudo, foi utilizado o software Eberick (versão 2020). Este é um software de engenharia civil para projeto estrutural em concreto armado. Ele permite a modelagem, cálculo, e detalhamento de estruturas de maneira integrada e eficiente. Com uma interface amigável e recursos que automatizam e otimizam o processo de design, o Eberick contribui significativamente para a precisão dos projetos, redução de erros, e economia de tempo e recursos. Especialmente útil em projetos complexos, como em edifícios multifamiliares, ele facilitou a análise estrutural e a geração de documentação técnica detalhada.

O software Eberick foi desenvolvido pela empresa brasileira AltoQi, especializada na criação de soluções tecnológicas para a engenharia, arquitetura e construção. Lançado para atender especificamente às demandas de cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado, o Eberick se destaca por sua

capacidade de trabalhar com a modelagem de pórticos espaciais, facilitando o processo de design estrutural desde a concepção até a execução dos projetos.

O Eberick é um sistema reconhecido por sua interface intuitiva e facilidade de manipulação, características que conferem alta produtividade aos usuários. Ele cobre todo o ciclo de projeto, desde a modelagem até a geração de documentação técnica, com desenhos detalhados de alto padrão. Além disso, realiza cálculos conforme as normas vigentes, oferecendo segurança e refinamento nos resultados (ALTOQI, 2024).

O software é amplamente reconhecido por apoiar departamentos de engenharia de construtoras, incorporadoras e órgãos públicos na produção de projetos com qualidade e retorno sobre o investimento, aproveitando as vantagens do Building Information Modeling (BIM) para desenvolver alternativas estruturais eficientes e minimizar retrabalhos e atrasos em obras. Isso torna o software uma ferramenta valiosa tanto para a prática profissional quanto para o contexto acadêmico, onde pode ser utilizado como recurso didático para o ensino de engenharia civil.

3.2.3 NBR 6118/2014 como referência

No contexto deste projeto e do estudo do consumo de aço, a NBR 6118 desempenha um papel crucial por diversas razões, como demonstra o Quadro 3.

Quadro 3 - Aspectos de Relevância da Norma NBR 6118/2014

Padronização e Segurança	A norma assegura que o projeto estrutural atenda a critérios de segurança bem estabelecidos, minimizando o risco de falhas estruturais que possam comprometer a integridade da construção e a segurança dos usuários.
Dimensionamento Otimizado	Através das diretrizes da NBR 6118, é possível realizar um dimensionamento mais preciso dos elementos estruturais, o que influencia diretamente o consumo de aço. A norma fornece as bases para o cálculo otimizado do volume de aço, evitando tanto o subdimensionamento, que pode levar a falhas estruturais, quanto o superdimensionamento, que resulta em desperdício de material e aumento dos custos de construção.
Durabilidade e Manutenção	A norma também estabelece requisitos para a durabilidade das estruturas de concreto armado, incluindo a proteção adequada da armadura contra a corrosão. Isso é essencial para garantir uma longa vida útil à estrutura, reduzindo a necessidade de manutenção e reparos dispendiosos ao longo do tempo.

Compatibilidade com Métodos Construtivos	A NBR 6118 orienta sobre como integrar estes métodos de vedação com o sistema estrutural de concreto armado, assegurando que a estrutura como um todo funcione de maneira eficaz e eficiente.

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

A NBR 6118 é a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que estabelece os requisitos e critérios necessários para o projeto de estruturas de concreto armado. Essa norma é fundamental para garantir a segurança, durabilidade e desempenho adequado das estruturas de concreto, abordando aspectos como análise estrutural, dimensionamento de elementos estruturais (vigas, pilares, lajes, fundações, etc.), detalhamento da armadura de aço, proteção contra corrosão, entre outros.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise do relatório de infraestrutura será deliberadamente excluída do escopo. Esta decisão decorre da natureza variável e técnica das decisões envolvidas na engenharia de infraestrutura, que dependem significativamente da expertise do profissional responsável por esta etapa do projeto. A concepção estrutural da infraestrutura é influenciada por uma matriz complexa de fatores técnicos, econômicos e ambientais, tornando cada projeto único e específico ao contexto no qual está inserido, como descreve Aranguiz (2016) e Assmann (2016).

É igualmente preciso considerar, assim como abordam Vito e Antunes (2019), que o substrato geológico e as condições do solo desempenham um papel crucial na determinação das técnicas e materiais a serem empregados na infraestrutura de um edifício. Estas condições variam de um local para outro, influenciando diretamente a seleção de métodos construtivos, profundidade das fundações, tipos de fundações e estratégias de mitigação de riscos geotécnicos.

Dada esta diversidade, uma análise abrangente que contemple todas as possibilidades seria impraticável dentro dos limites deste estudo. Portanto, foca-se em aspectos da superestrutura, cujas considerações e aplicações possuem um espectro mais definido e gerenciável, permitindo uma análise focada e detalhada das variáveis em estudo.

4.1 RELATÓRIO DA SUPERESTRUTURA EM ALVENARIA COM BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTO CLAVADO

Na análise do desempenho estrutural e eficiência material em projetos de construção civil, a seleção de materiais desempenha um papel crítico, influenciando diretamente no custo total da obra. Este estudo centra-se especificamente no consumo de aço em uma superestrutura que emprega o bloco de concreto celular autoclavado, um material conhecido por suas propriedades de leveza e isolamento, além de ser uma alternativa sustentável aos métodos convencionais de construção.

O uso deste material pode, não apenas afetar positivamente a eficiência energética e o desempenho térmico de um edifício, mas também apresentar implicações significativas no consumo de aço necessários para a construção, visando viabilidade econômica e ambiental de projetos de construção. A metodologia foi estruturada com base em cálculos precisos que consideram as especificações técnicas dos elementos estruturais do edifício, incluindo vigas, pilares e lajes, entre outros. Os dados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação do consumo de aço para alvenaria de vedação em BCCA

Pavimento	Elemento	Consumo de aço +10 % (kg)
Topo Cx d'água	Vigas	231,60
	Pilares	208,00
	Lajes	284,10
	Escadas	0,00
8ª Laje	Vigas	1.007,70
	Pilares	954,20
	Lajes	1.115,60
	Escadas	0,00
7ª Laje	Vigas	2.095,40
	Pilares	1.428,50
	Lajes	882,70
	Escadas	122,60
6ª Laje	Vigas	1.230,90
	Pilares	1.563,00

	Lajes	482,50
	Escadas	101,40
5ª Laje	Vigas	1.257,80
	Pilares	1.579,80
	Lajes	490,00
	Escadas	102,40
4ª Laje	Vigas	1.330,20
	Pilares	1.633,70
	Lajes	496,40
	Escadas	105,00
3ª Laje	Vigas	1.467,10
	Pilares	1.972,80
	Lajes	488,70
	Escadas	101,20
2ª Laje	Vigas	6.601,00
	Pilares	2.375,90
	Lajes	2.689,00
	Escadas	113,20
1ª Laje	Vigas	5.713,20
	Pilares	2.543,20
	Lajes	2.418,20
	Escadas	121,10
Total:		45.308,10

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Nota-se que o topo da caixa d'água, por exemplo, requer um total de 231,6 kg de aço apenas para as vigas. Os pilares, estruturas de suporte fundamentais, demandam 208 kg de aço. A laje, por sua vez, utiliza 284,1 kg de aço. O consumo de aço é indicativo das decisões arquitetônicas e estruturais tomadas para maximizar a eficiência e durabilidade do edifício, ao mesmo tempo em que se atentam aos requisitos de segurança e sustentabilidade.

Na sequência, apresentam-se os dados relacionados a superestrutura com alvenaria de vedação em tijolo cerâmico. Após esta apresentação, as informações são correlacionadas em um comparativo sobre cada grupo de material em estudo.

4.2 RELATÓRIO DA SUPERESTRUTURA EM ALVENARIA COM TIJOLO CERÂMICO

Esta parte da análise foca especificamente no uso do tijolo cerâmico para a alvenaria de vedação, um dos materiais mais tradicionais e amplamente utilizados na indústria da construção. Através do tijolo cerâmico, buscamos compreender como um material convencional se compara ao uso de blocos de concreto celular autoclavado em termos de consumo de aço e volume de concreto necessários para a construção de uma superestrutura.

A metodologia empregada para quantificar o consumo de aço utilizado na execução de alvenaria de vedação com tijolo cerâmico segue princípios analíticos semelhantes aos aplicados na seção anterior. Consideramos detalhadamente cada elemento estrutural (incluindo vigas, pilares e lajes).

Tabela 2 – Relação do consumo de aço para alvenaria de vedação em tijolo cerâmico

Pavimento	Elemento	Consumo de aço +10 % (kg)
Topo Cx d'água	Vigas	231,80
	Pilares	213,30
	Lajes	249,40
	Escadas	0,00
8ª Laje	Vigas	1.062,60
	Pilares	988,70
	Lajes	1.065,70
	Escadas	0,00
7ª Laje	Vigas	2.107,40
	Pilares	1.622,30
	Lajes	919,40
	Escadas	122,10
6ª Laje	Vigas	1.702,20
	Pilares	1.708,70
	Lajes	590,00
	Escadas	101,70
5ª Laje	Vigas	1.527,60

	Pilares	1.741,90
	Lajes	611,80
	Escadas	103,00
4ª Laje	Vigas	1.621,00
	Pilares	1.827,30
	Lajes	611,80
	Escadas	105,70
3ª Laje	Vigas	1.731,80
	Pilares	2.212,20
	Lajes	618,10
	Escadas	101,90
2ª Laje	Vigas	7.659,40
	Pilares	2.555,90
	Lajes	2.628,30
	Escadas	124,60
1ª Laje	Vigas	6.215,50
	Pilares	2.651,90
	Lajes	2.549,80
	Escadas	117,10
Total		50.001,90

Fonte: Elaborado pela Autora (2024).

Nos dados coletados, observamos o comportamento do tijolo cerâmico sob as demandas estruturais de um projeto comparável ao anteriormente discutido, permitindo uma análise comparativa que destaca os benefícios e limitações de cada material.

4.3 COMPARANDO O VOLUME DE AÇO PARA CADA UMA DAS ALVENARIAS DE VEDAÇÃO

A análise começa com a apresentação dos dados quantitativos obtidos para ambos os materiais. Para a superestrutura construída com BCCA, registramos um total de 45.308,1 kg de aço consumido, contrastando com os 50.001,9 kg necessários para a estrutura que emprega tijolo cerâmico. Este aumento de aproximadamente

4.693,8 kg ($\approx 10\%$) de aço para a alvenaria de vedação em tijolo cerâmico reflete um maior consumo de material estrutural em comparação com o BCCA. A taxa de variação no consumo do aço (objeto de estudo) se demonstrou moderada e dentro do previsto.

O aumento no consumo de aço tem múltiplas repercussões, como também apontaram os achados de Jesus et al (2018), Teixeira et al (2019) e Marinho (2020). Do ponto de vista econômico, o aço é um dos componentes mais custosos em muitos projetos de construção, influenciando diretamente o orçamento final da obra, além de demais reverberações orçamentárias como em logística, mão de obra, locação de equipamentos, entre outros. Do ponto de vista ambiental, a produção de aço é intensiva em carbono, contribuindo para as emissões de gases de efeito estufa.

Esta comparação sugere que a escolha do BCCA pode ser considerada como melhor opção, corroborando com os estudos de Bianchini e Daré (2016), Klaumann e Carvalho (2017) e Silva (2024). É essencial, no entanto, considerar que cada material possui propriedades únicas que podem influenciar outras decisões de projeto, como isolamento térmico, acústico, velocidade de construção (operacionalização), entre outros.

Portanto, ao responder ao problema de pesquisa, destaca-se que o uso de BCCA, em comparação com a alvenaria de vedação em tijolo cerâmico, resulta em uma diminuição no consumo de aço, o que pode levar a economias de custo e a uma construção mais sustentável. Esta análise fornece uma base sólida para futuras decisões de projeto, incentivando uma avaliação criteriosa dos materiais em termos de seu impacto econômico e ambiental, além de suas propriedades técnicas e funcionais.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise revelou que a implementação do BCCA pode oferecer vantagens significativas, tanto em termos potenciais econômicos (não é objeto de estudo, mas compõe o cenário de resultado) quanto ambientais, principalmente pela redução no consumo de aço. De acordo com os relatórios apresentados, o sistema de vedação por tijolo cerâmico apresentou um consumo de aço de 4.693,80 kg acrescidos do consumo de aço para o sistema de vedação por bloco CCA, o que representa cerca de 10%.

Portanto, a escolha de utilizar BCCA em detrimento de materiais mais densos, como o tijolo cerâmico, tende não somente a facilitar a execução da obra como também pode promover uma significativa economia de recursos, o que é alinhado com as tendências de construções mais sustentáveis e eficientes energeticamente.

Entretanto, é fundamental reconhecer as limitações deste estudo e as potenciais dificuldades associadas ao uso do BCCA, que podem influenciar sua aplicabilidade prática. Uma limitação chave deste estudo reside na exclusão da análise de infraestrutura, dada a complexidade e variabilidade inerente a essas estruturas. Ademais, a comparação focou exclusivamente em aspectos quantitativos do consumo de aço, sem abordar outros fatores cruciais como durabilidade, resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico, rendimento de serviços, quantidade de resíduos gerados, que são essenciais na seleção de materiais para projetos de construção.

Quanto ao uso do BCCA, duas dificuldades principais emergem: transporte e custo. A viabilidade do BCCA pode ser limitada pela proximidade do local da obra aos pontos de produção ou distribuição do material. Em regiões onde o BCCA não é amplamente disponível, os custos de transporte podem aumentar significativamente o custo final do material, potencialmente neutralizando as possíveis economias alcançadas pela redução no consumo de aço.

Além disso, o custo inicial do BCCA pode ser mais elevado em comparação com materiais de construção mais convencionais, como o tijolo cerâmico, o que requer uma análise cuidadosa do rendimento de serviços, que também varia de acordo com a mão de obra. Portanto, enquanto o BCCA apresenta uma opção promissora para projetos de construção sustentável, a decisão de seu uso deve ser cuidadosamente ponderada, considerando tanto os benefícios quanto as potenciais barreiras. É essencial uma avaliação holística que inclua considerações logísticas, econômicas e ambientais, além das propriedades técnicas do material. Este estudo contribui para a literatura existente ao fornecer “insights” valiosos sobre o impacto do consumo de aço em diferentes métodos de construção, destacando o potencial do BCCA como uma alternativa sustentável.

Entretanto, reconhece-se a necessidade de pesquisas futuras que abordem as lacunas identificadas, explorando, por exemplo, a viabilidade do BCCA em diferentes contextos geográficos e econômicos, e avaliando seu desempenho em relação a uma gama mais ampla de critérios de sustentabilidade. Enquanto o BCCA oferece uma

oportunidade para avançar em direção a práticas de construção mais sustentáveis, sua adoção requer uma análise cuidadosa e abrangente, que equilibre os benefícios ambientais e econômicos com as potenciais dificuldades e limitações. Este estudo fornece um ponto de partida valioso para essa análise, incentivando uma discussão mais aprofundada e crítica sobre o futuro da construção sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALTOQI. Eberik: Documentação de projeto com alto padrão de entrega. 2024. Disponível em: <https://altoqi.com.br/eberick> Acessado em janeiro de 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15836:2010**. Blocos de concreto celular autoclavado - Requisitos. Rio de Janeiro, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13438:2011**. Tijolos cerâmicos maciços - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13440:2011**. Tijolos cerâmicos vazados - Requisitos. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15270:2013**. Blocos de concreto para alvenaria - Requisitos. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7170:2015**. Alvenaria estrutural - Regras para projeto e execução. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014**. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- ARANGUIZ, Bruno D. **Comparativo entre sistemas de divisórias internas: bloco cerâmico, drywall e bloco de concreto celular autoclavado**. 2016. Monografia (Esp. em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Taquari - Univates.
- ASSMANN, Lucas V. **Comparação entre sistemas de alvenaria de vedação: bloco de concreto celular e bloco cerâmico**. 2016. Esp. Engenharia Civil. Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC.
- ATAÍDE, Carolina M. et al. Análise comparativa de desempenho térmico e acústico entre vedações internas de alvenaria de bloco cerâmico e bloco de concreto celular autoclavado. **VII ENSUS** – Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFSC – Florianópolis, 2019.
- BIANQUINI, Fernanda M.; DARÉ, Mônica E. ESTUDO COMPARADO DOS CUSTOS DIRETOS ENTRE OS SISTEMAS DE VEDAÇÃO COM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E COM ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO. **R. UNESC Ciências, Engenharias e Tecnologias**, v.1, n.2, 2016.
- BOLINA, Fabrício L. et al. **Patologia de Estruturas**. 1 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2019.
- BORGES, Aline V.; LIBRELOTTO, Lisiane I. Análise da construtibilidade em sistemas de vedação com alvenaria de bloco de concreto celular autoclavado. **ENSUS** – Encontro de Sustentabilidade em Projeto (UFSC), Florianópolis, 2018.

CELESTINO, L. M.; RESENDE, P. S. O. Análise comparativa de custo direto de produção entre sistemas construtivos utilizados em Habitação de Interesse Social. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, **R.Engenharia Civil**, v.2, 2021.

CRESWELL, John W. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 3ª ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2016.

COSTA JÚNIOR, Marcos A. et al. Análise e comportamento da estrutura metálica: light steel frame. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas-UNIT-SERGIPE**, v. 7, n. 2, p. 27-27, 2022.

DALPAZ, Leticia. et al. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE DIFERENTES ENVOLTÓRIAS PARA HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL EM FLORIANÓPOLIS. **XV ENCAC XI ELACAC** - Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, João Pessoa, 2019.

DRESCH, Aline et al. **Metodologia Científica para Engenharia**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2019.

FREITAS, Arlene M. S. et al. Análise estrutural e térmica de edificações em aço constituídas de perfis formados a frio. **Rem: Revista Escola de Minas**, v.54, p.311-315, 2017.

FUSCO, Pérciles B. et al. **Introdução À Engenharia De Estruturas De Concreto**. 1 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2017.

JESUS, Andressa T. C. et al. Análise Comparativa dos Sistemas Construtivos em Alvenaria Convencional, Alvenaria Estrutural e Moldes Isolantes para Concreto (lcf). **E&S - Engineering and Science**, v.7, n.3, 2018.

KLAUMANN, Paulo V.; CARVALHO, Thays. **VEDAÇÃO EM BLOCO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO E ALVENARIA DE TIJOLO CERÂMICO EM UNIDADES RESIDENCIAIS MULTIFAMILIARES: ESTUDO DE CASO COMPARATIVO**. 2017. 91p. Monografia (B. Eng. Civil) - UNISUL, Palhoça, 2017.

MADUREIRA, Eduardo M. P.; INÁCIO, Edirlei V. VIABILIDADE ECONÔMICA DAS TECNOLOGIAS VERDES NO USO DA CONSTRUÇÃO CIVIL EM CASCAVEL/PR. **Revista Thêma et Scientia**, v.5, n.1, 2015.

MARINHO, Mateus M. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O CÁLCULO MANUAL E COMPUTACIONAL DE UM EDIFÍCIO EM CONCRETO ARMADO**. 2020. 56p. Monografia (Esp. em Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2020.

MONTIEL, José E. da S.; SILVA, Domingos J. F. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO E ESTRUTURA EM AÇO COM PERFIS DE ALMA CHEIA. **UFGD - FAEN Dpto. Eng. Civil**, 2019.

PEDRO, Rudimar. **Produção de blocos de concreto celular usando espumígeno de ácidos graxos de coco e resíduos de pedras roladas de ágata**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – UFRGS, Porto Alegre, 2017.

PERON, Robson. Estudo de viabilidade econômica para uso de bloco celular autoclavado assentado com argamassa polimérica como vedação de unidades residenciais multifamiliares: um estudo de caso comparativo. **Rev. Int. Engenharia Civil-Tubarão**, v.4, n.6, 2018.

RAMÃO, Ana C. L. **Análise do desempenho térmico e consumo de energia de edificação residencial vertical que atende aos critérios da NBR 15575:2013**. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil) – UNISINOS, São Leopoldo, 2018.

SANTOS, Roger A. N. et al. Alvenaria estrutural-método executivo com blocos de concreto. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar**, p.2675-6218, v.2, n.10, 2021.

SILVA, Pedro Z. **ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE BLOCOS DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO E BLOCOS CERÂMICOS TRADICIONAIS NA ALVENARIA DE VEDAÇÃO: DESEMPENHO TÉCNICO, SUSTENTABILIDADE E APLICAÇÕES PRÁTICAS**. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia Civil), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2024.

SILVA, A. P.; SILVA, J. G. Análise comparativa do desempenho térmico e acústico de paredes de vedação em blocos de concreto celular autoclavado e tijolos cerâmicos. **UTFPR Revista Engenharia e Construção Civil**, n.11, v.2, p.1-10, 2021.

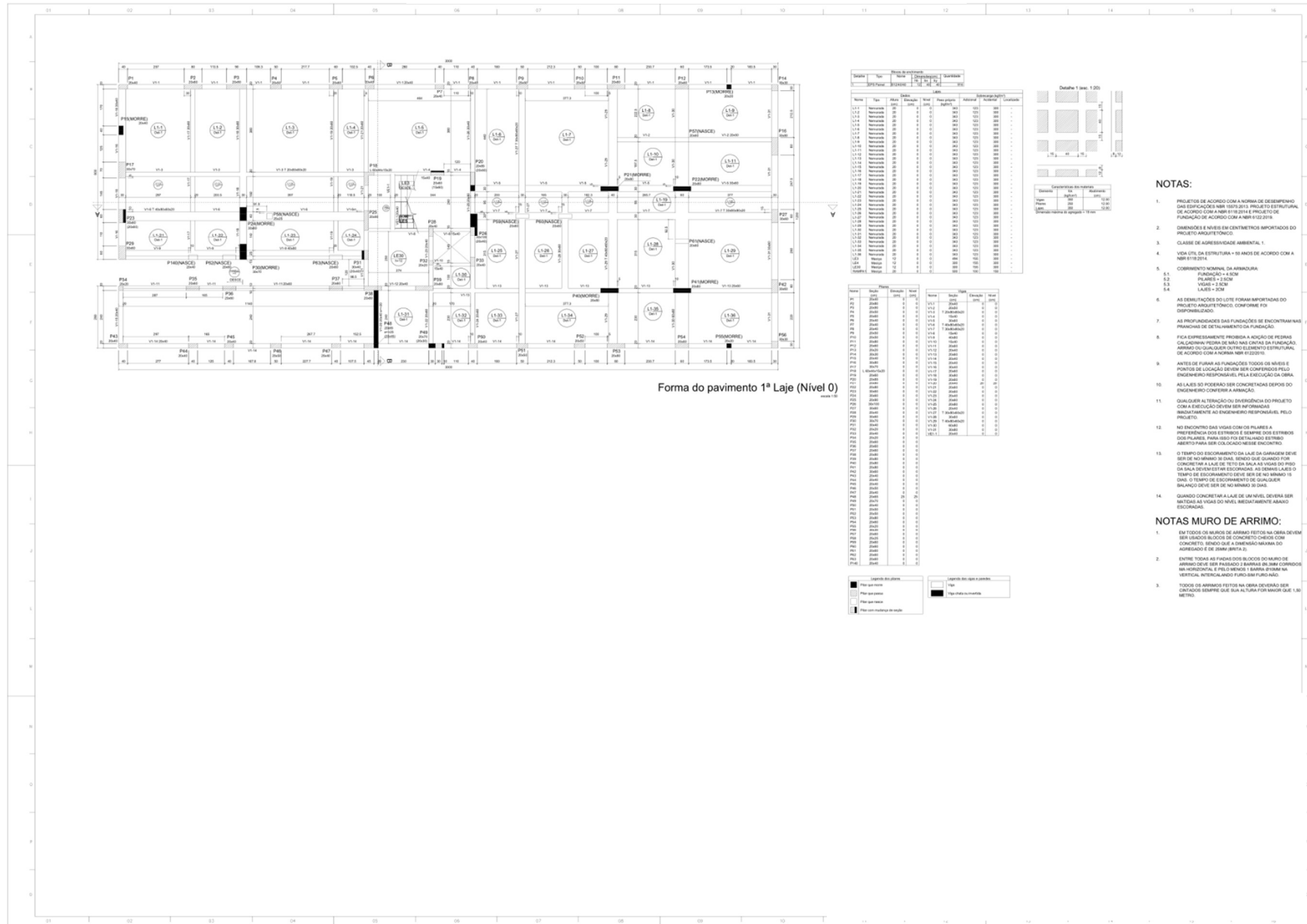
TEIXEIRA, João M. R. et al. Comparativo de custos entre alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto celular autoclavado. **Revista do CENAR**, v. 1, n. 1, p. 67-79, 2019.

VILANOVA, Matheus B. **UTILIZAÇÃO DE ESCÓRIA DE ALUMÍNIO NA FABRICAÇÃO DE CONCRETO CELULAR AUTOCLAVADO**. 2017. Esp. Engenharia de Materiais. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFETMG, Belo Horizonte, 2017.

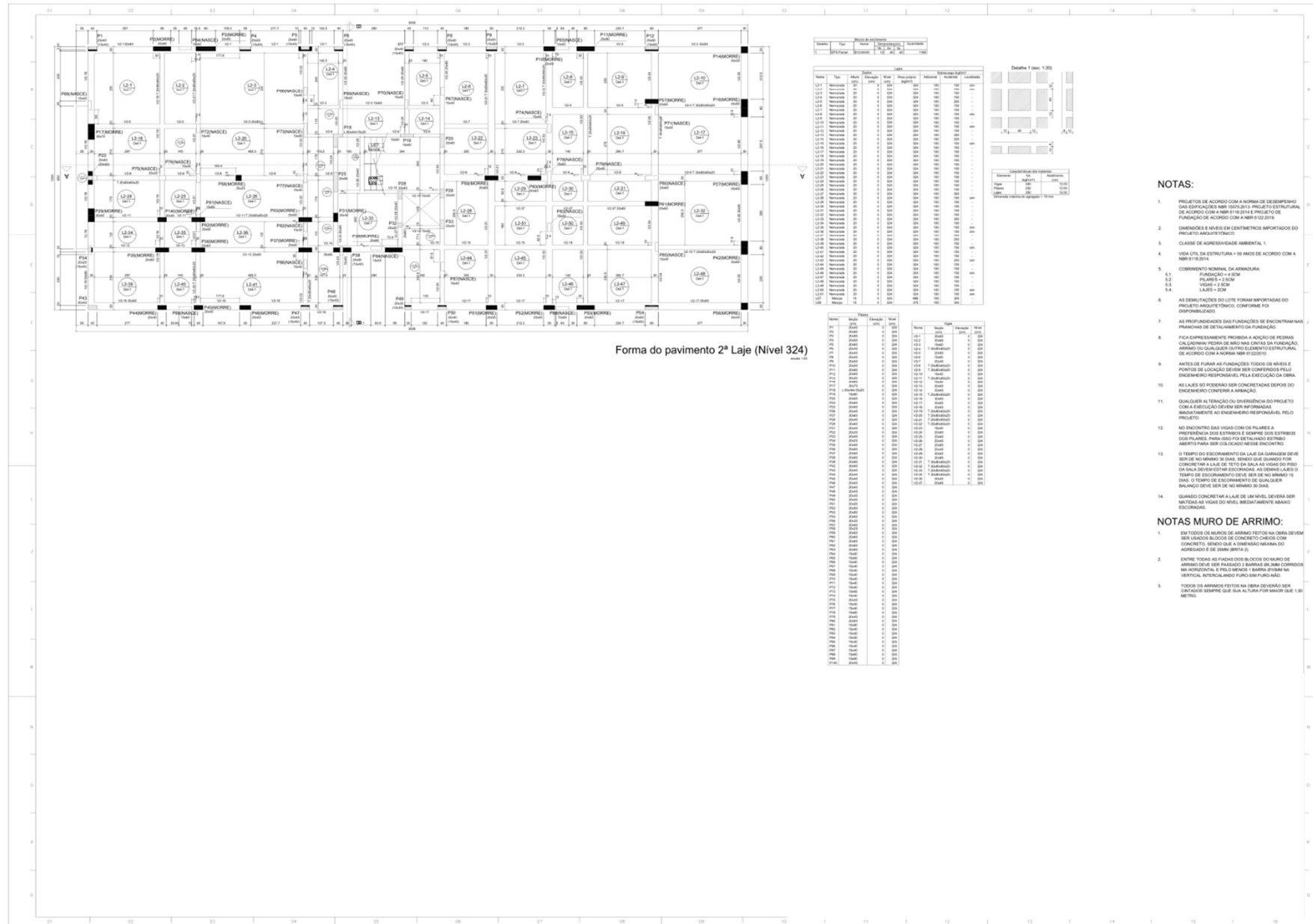
VITO, Bruno T.; ANTUNES, Elaine P. G. Análise da resistência de aderência de sistema de revestimento cerâmico, em alvenaria com bloco de concreto celular autoclavado, sem inserção de emboço. **R. UNESC Ciências, Engenharias e Tecnologias**, v.6, n.4, 2019.

WITZKE, Franky B. Análise técnico-econômica dos blocos de concreto celular autoclavado na alvenaria de vedação. **R. Engenharia e Construção Civil**, v. 3, n.2, 2017.

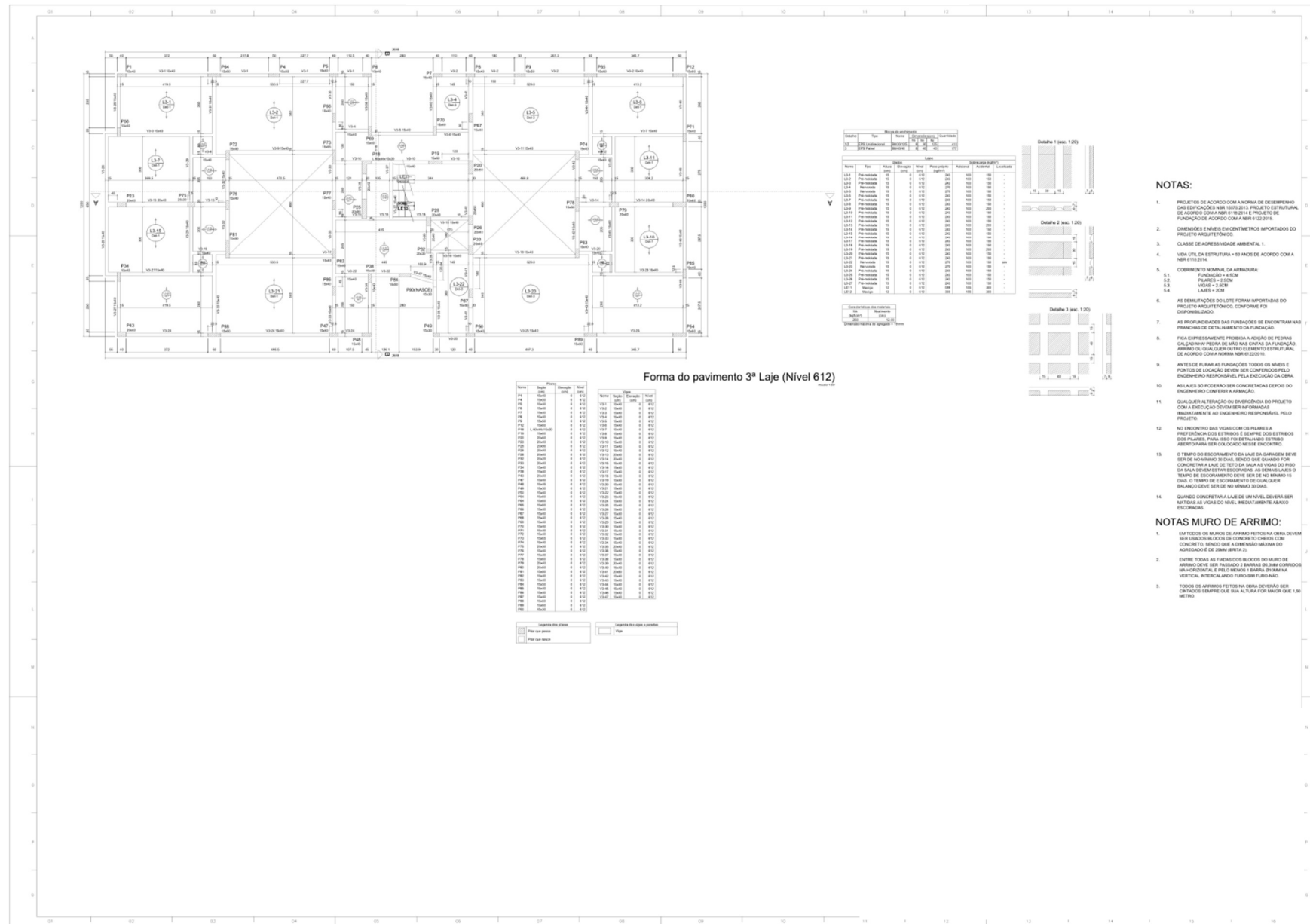
APÊNDICE A – Pavimento 1ª Laje (Nível 0)



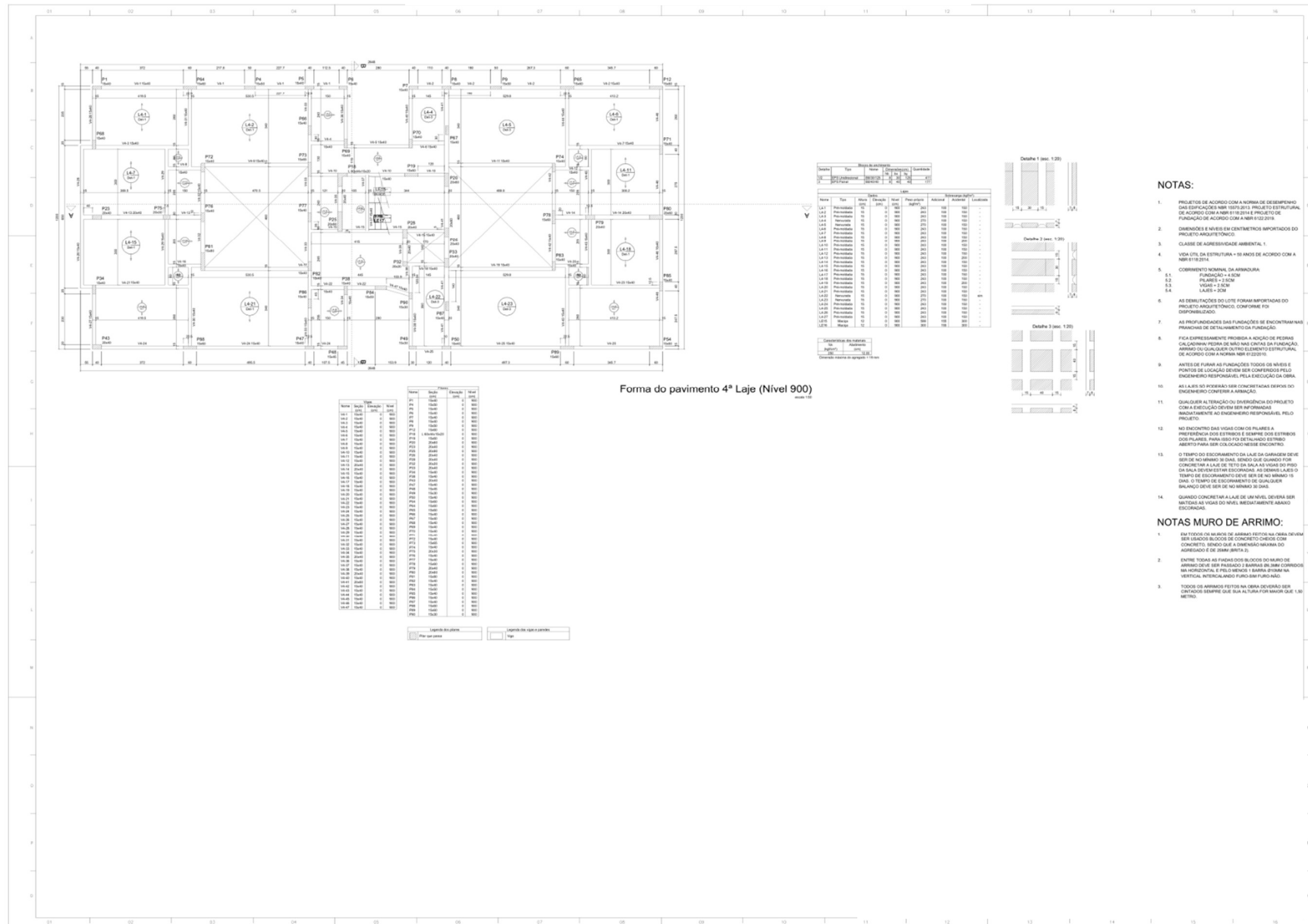
APÊNDICE B – Pavimento 2ª Laje (Nível 324)



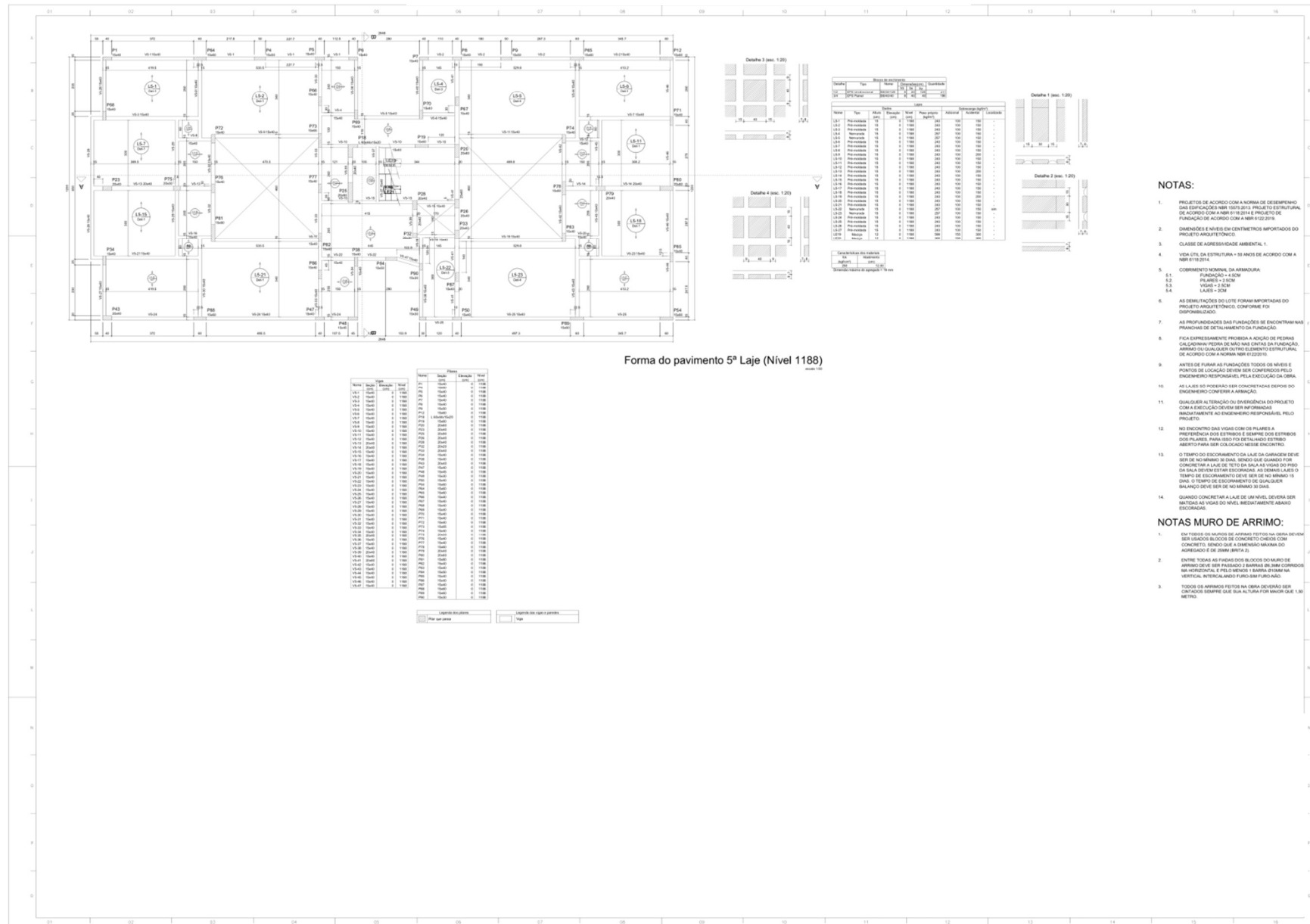
APÊNDICE C – Pavimento 3ª Laje (Nível 612)



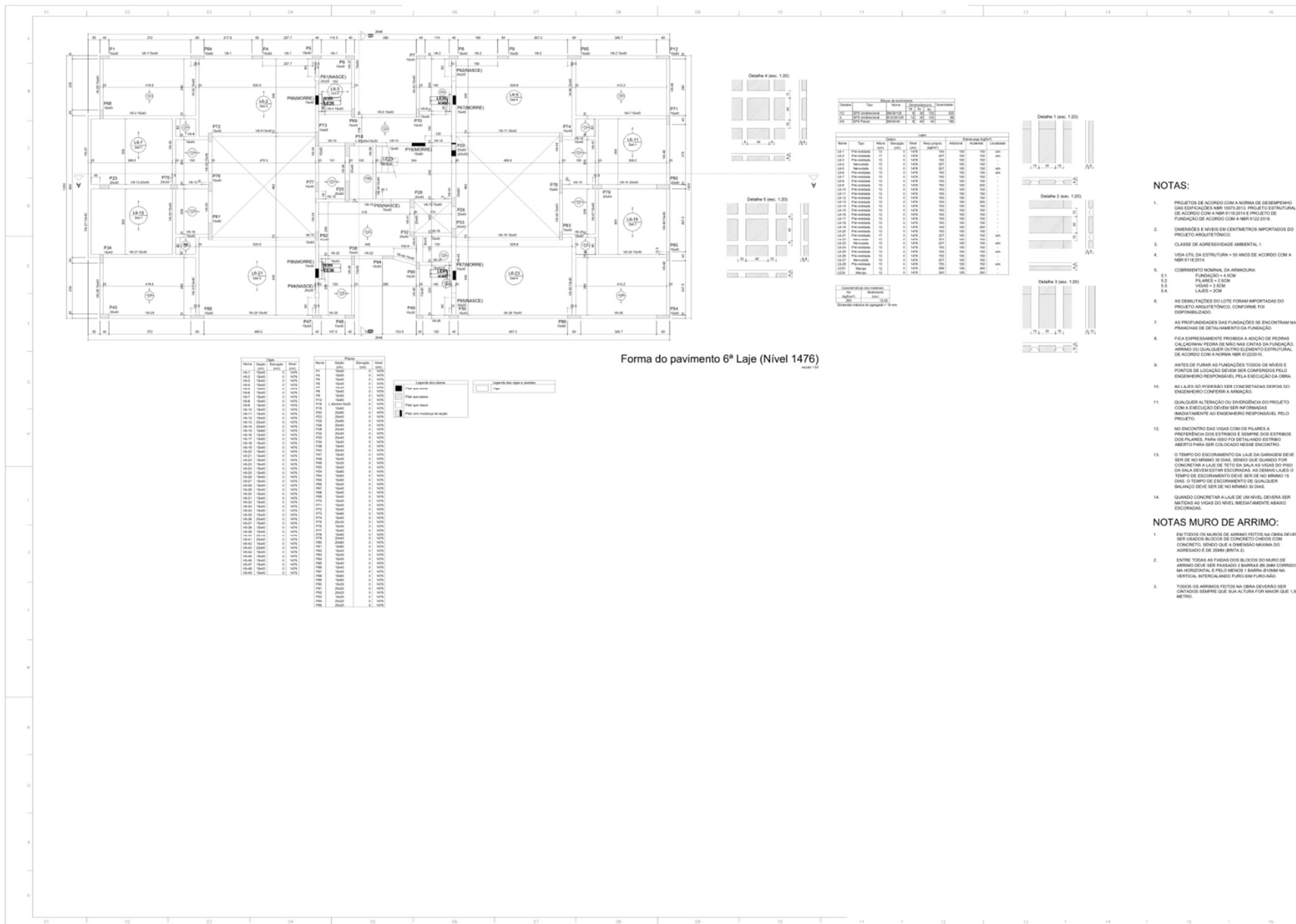
APÊNDICE D – Pavimento 4ª Laje (Nível 900)



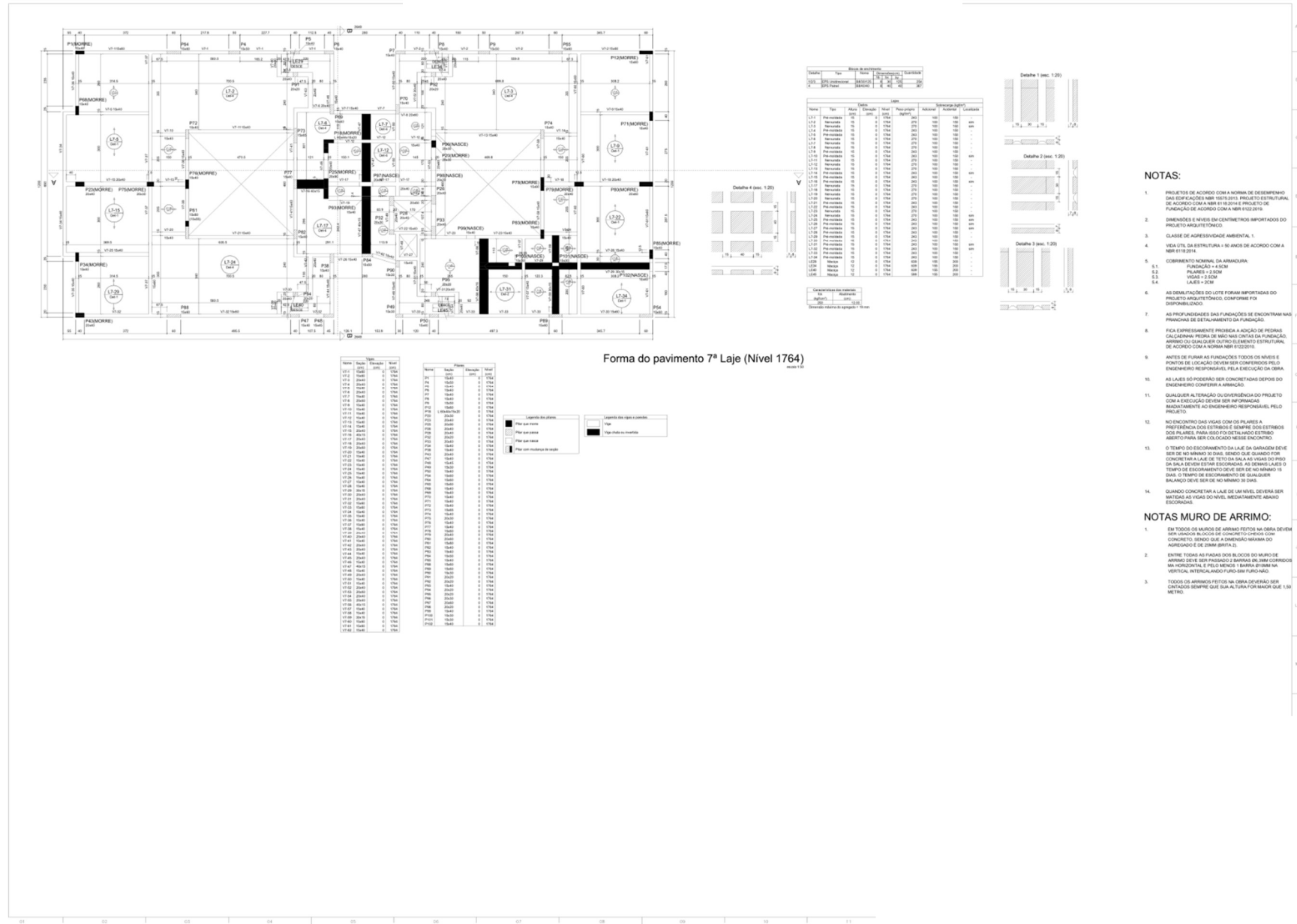
APÊNDICE E – Pavimento 5ª Laje (Nível 1166)



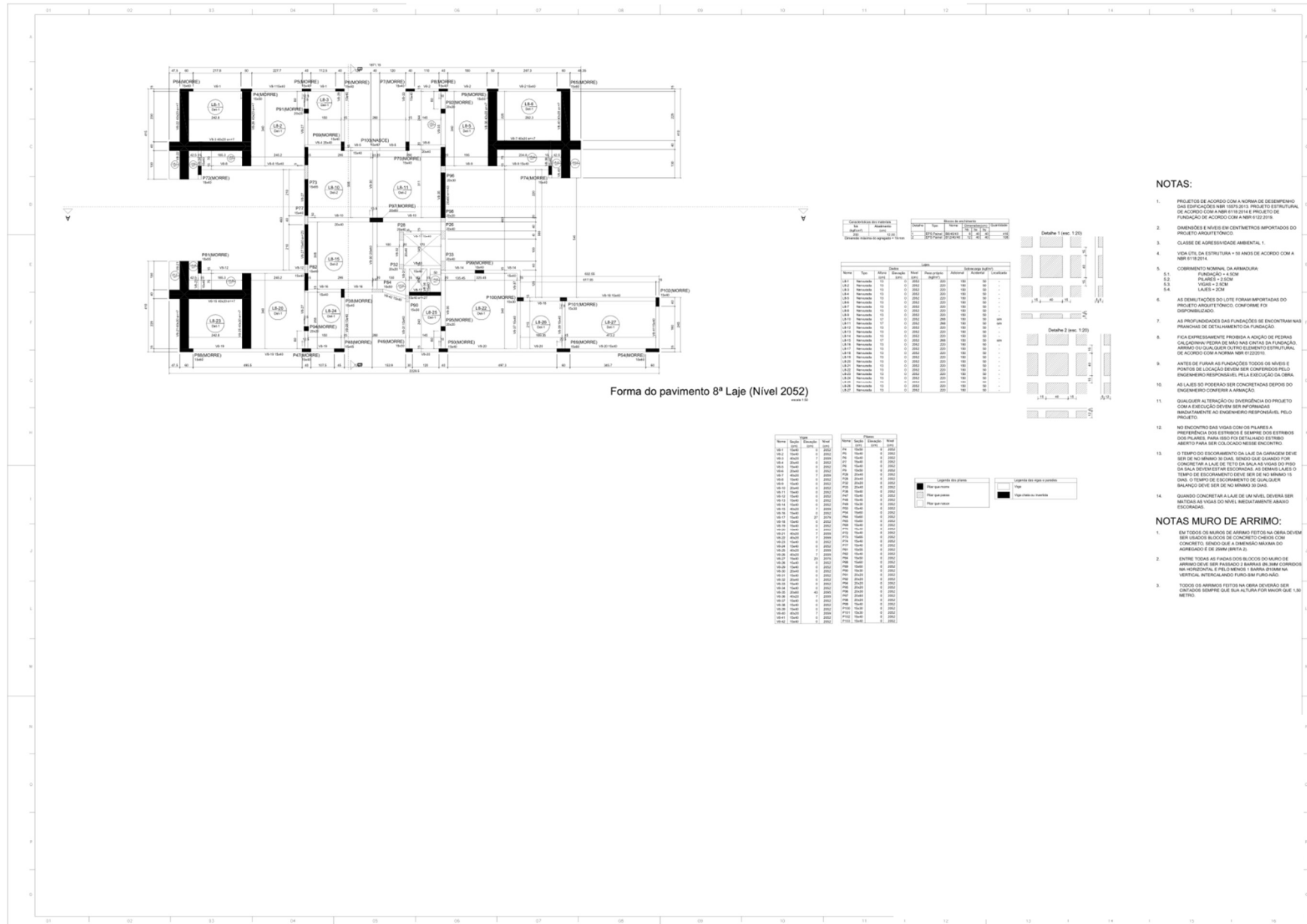
APÊNDICE F – Pavimento 6ª Laje (Nível 1476)



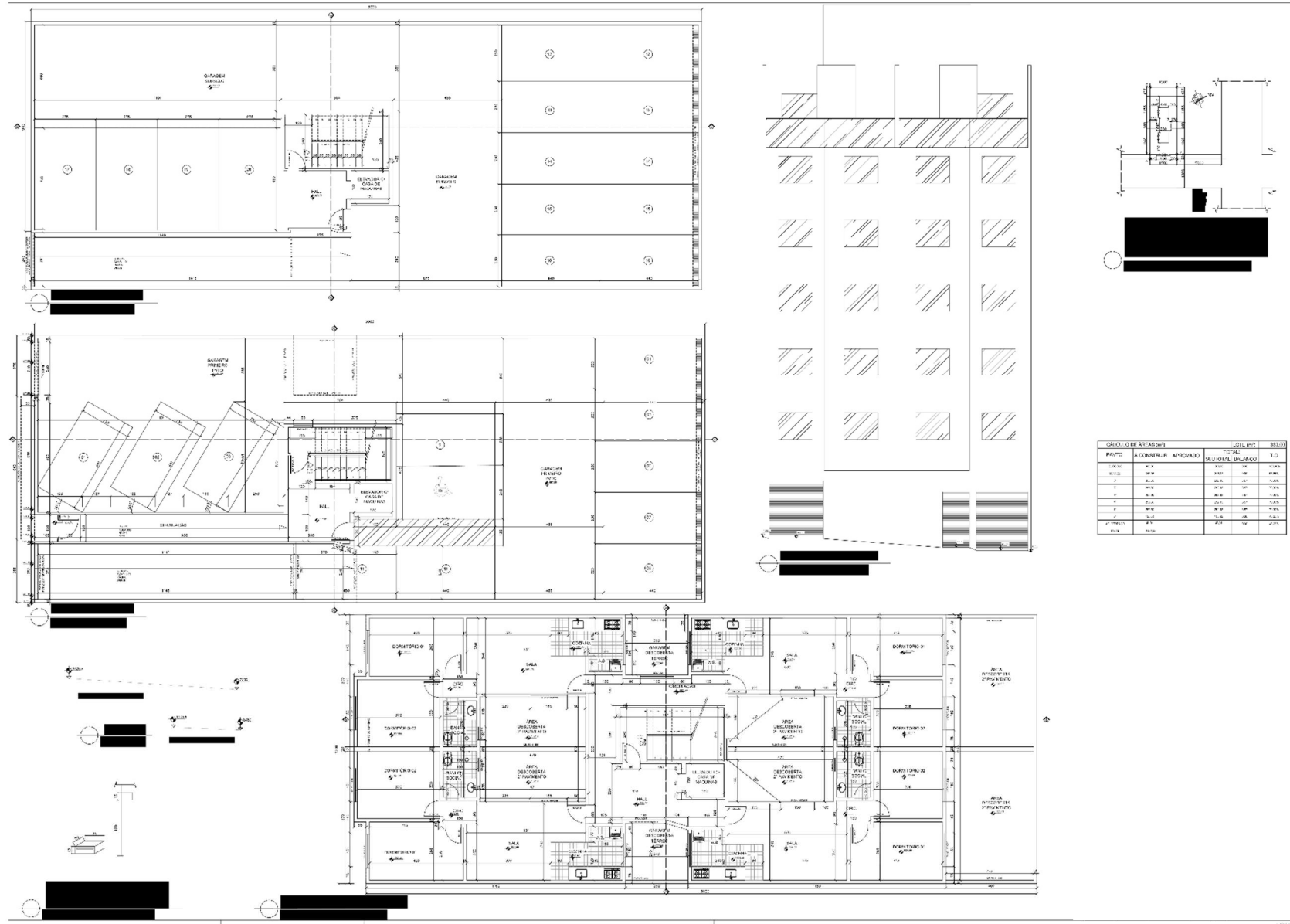
APÊNDICE G – Pavimento 7ª Laje (Nível 1764)



APÊNDICE H – Pavimento 8ª Laje (Nível 2052)



APÊNDICE I – Projeto Arquitetônico PRANCHA 1/4



APÊNDICE J – Projeto Arquitetônico PRANCHA 2/4

